

19 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift

10 DE 44 14 968 A 1

21 Aktenzeichen: P 44 14 968.9
22 Anmeldetag: 28. 4. 94
43 Offenlegungstag: 2. 11. 95

51 Int. Cl. 6:
H 01 L 49/00

H 01 L 27/06
H 01 L 21/784
G 01 L 1/14
G 12 B 1/00
H 02 N 2/00
H 01 L 41/08
B 06 B 1/06

3

DE 44 14 968 A 1

71 Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

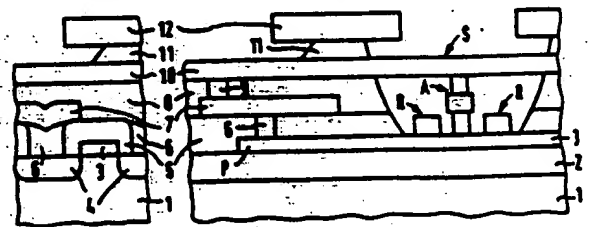
72 Erfinder:

Zettler, Thomas, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 81737
München, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Mikrosystem mit integrierter Schaltung und mikromechanischem Bauteil und Herstellverfahren

57 Die Erfindung betrifft ein Mikrosystem mit einer integrierten Schaltung (IS) und einem mikromechanischen Bauteil (BT), wobei das mikromechanische Bauteil ohne zusätzlichen Prozeßaufwand zum IS-Prozeß durch ein geeignetes Design hergestellt werden kann. Dazu ist vorgesehen, sowohl die festen (A, E, B) als auch die beweglichen (R, M, F) mikromechanischen Strukturen des mikromechanischen Bauteils zumindest teilweise aus einer leitenden Schicht (7) herzustellen, die gleichzeitig als Metallisierung bei der integrierten Schaltung verwendet wird. Die isolierende Schicht (5) unter der leitenden Schicht (7) fehlt im Bereich der beweglichen mikromechanischen Struktur, so daß diese entweder frei oder federnd beweglich ist. Mit dem Verfahren können ein Motor, ein Oszillator, ein proportionaler oder ein nicht proportionaler Kraftsensor als mikromechanisches Bauteil hergestellt werden.



DE 44 14 968 A 1

bunden. Der elektrische Kontakt zu tiefer liegenden Schaltungselementen erfolgt über Kontakte in der isolierenden Schicht. Über einen gleichzeitig hergestellten Kontakt kann eine elektrische und/oder mechanische Verbindung zum Substrat im Bereich des mikromechanischen Bauteils realisiert werden; beispielsweise kann die Achse eines Motors oder eine Elektrode als festes mikromechanisches Bauteil mit dem Substrat verbunden werden.

Im Bereich des mikromechanischen Bauteils kann die isolierende Schicht unter einer festen mikromechanischen Struktur als Verbindung bleiben oder entfernt werden. In der Umgebung einer beweglichen Struktur wird die isolierende Schicht vollständig entfernt. Dies geschieht durch einen Ätzprozeß, der eine ausreichende Selektivität zur leitenden Schicht (also zum Material der beweglichen Struktur) aufweist, und der eine isotrope Komponente besitzt, um die bewegliche Struktur vollständig zu unterätzen. Der Ätzprozeß wird unter Einsatz einer Maske durchgeführt, die über der beweglichen mikromechanischen Struktur eine ausreichend große Öffnung besitzt, um — in Abhängigkeit von der Isotropie des Ätzprozesses und dem zu unterätzenden Bereich — die notwendige Freilegung der beweglichen Struktur zu gewährleisten. Im Bereich der integrierten Schaltung werden mit dem Ätzprozeß die Anschlußpads der Schaltung freigelegt.

Bei einer frei beweglichen mikromechanischen Struktur besitzt diese nach dem Ätzprozeß keine Verbindung mehr zum übrigen Bauteil. Bei einer federnd beweglichen mikromechanischen Struktur ist noch eine Verbindung vorhanden, und zwar vorzugsweise über einen seitlich herausgeführten Teil der leitenden Schicht mit geringer Querschnittsfläche, der auf seiner anderen Seite z. B. mit einer Befestigungsplatte verbunden ist und als Federelement zwischen beweglicher Struktur und Befestigungsplatte wirkt.

Das mikromechanische Bauteil entsteht also ohne zusätzlichen Aufwand zum Herstellungsprozeß für die integrierte Schaltung: Sowohl die leitenden und isolierenden Schichten als auch die Ätzprozesse sind bereits für die integrierte Schaltung notwendig, lediglich die Masken müssen im Bereich des mikromechanischen Bauteils entsprechend angepaßt werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen, die in den Figuren dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 bis 2 einen Querschnitt durch ein Halbleitersubstrat mit einem Ausschnitt aus einer integrierten Schaltung (Bereich IS) und einem mikromechanischen Bauteil (Bereich BT), an dem das Verfahren verdeutlicht wird,

Fig. 3 bis 4 eine Aufsicht auf das mikromechanische Bauteil aus Fig. 1 und 2 nach Strukturierung der ersten bzw. zweiten Metallisierungsebene,

Fig. 5 bis 8 einen Querschnitt durch bzw. eine Aufsicht auf ein mikromechanisches Bauteil gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 1 bis 4:

Als erstes Ausführungsbeispiel wird ein mikromechanisches Bauteil beschrieben, das als Mikromotor eingesetzt werden kann. Es besitzt (s. Fig. 2, 4) eine Achse A und Elektroden E als feste mikromechanische Bauteile sowie einen Ring R als bewegliches mikromechanisches Bauteil. In Fig. 1 und 2 liegen die Elektroden E vor bzw. hinter der Zeichenebene.

In Fig. 1 ist ein Silizium-Halbleitersubstrat 1 mit einem Feldoxid 2 dargestellt. Weitere, für die Herstellung

einer integrierten Schaltung (IS) notwendigen Verfahrensschritte werden ebenfalls vorgenommen, bei einer CMOS-Schaltung also beispielsweise Herstellen von epitaktischen Schichten, dotierten Wannen, Kanalimplantation, Gate-Oxid. Für die Gate-Ebene der IS wird eine Polysiliziumschicht 3 abgeschieden und strukturiert. Im Bereich des mikromechanischen Bauteils (BT-Bereich) wird diese wie in Fig. 3 dargestellt strukturiert, d. h. sie verbleibt unterhalb der späteren beweglichen Struktur und dient dort u. a. als Ätzstop sowie über den Teil P als elektrischer Anschluß. Vor und hinter der Zeichenebene von Fig. 1 und 2 werden getrennte Polysilizium-Flächen gebildet, die später mit den Elektroden E₁, E₂ des Motors verbunden werden. Im IS-Bereich wird ein Gate 3 gebildet, und es wird u. a. eine Implantation der Source/Drain-Gebiete 4 durchgeführt.

Auf der Polysiliziumebene 3 befindet sich ein vorzugsweise planares Zwischenoxid 5 als isolierende Schicht, in der an vorgegebenen Stellen Kontakte 6 zur Polysiliziumebene oder zu tiefer liegenden Ebenen vorhanden sind. Im BT-Bereich bildet ein solcher Kontakt einen Teil der Achse A, ein oder mehrere der Kontakte können auf den Polysilizium-Elektroden angeordnet sein. Über einen solchen Kontakt 6 wird auch der in Fig. 1 und 2 dargestellte Teil P der Polysiliziumschicht 3 nach oben angeschlossen. Im IS-Bereich können die Gate-Ebene oder die S/D-Gebiete 4 angeschlossen werden.

Auf dem Zwischenoxid 5 befindet sich als leitende Schicht eine erste Metallebene 7, beispielsweise aus Al-Si, die geeignet strukturiert ist. Im BT-Bereich werden Metallelektroden E₁, E₂ (Fig. 3, 4) strukturiert, die vorzugsweise in etwa deckungsgleich mit den Polysilizium-Elektroden sind und mit diesen über die Kontakte 6 verbunden sind. Als weitere feste mikromechanische Struktur wird ein Teil der Achse A aus der ersten Metallisierungsebene gebildet. Ebenfalls wird eine (später) bewegliche mikromechanische Struktur gebildet, beispielsweise in Form einer in sich geschlossenen Bahn (Ring R) um die Achse herum und ohne Verbindung zu ihr. Da der Ring später durch Unterätzung völlig freigelegt werden soll, besitzt er eine relativ geringe Bahnbreite d.

Im IS-Bereich kann die erste Metallisierungsebene 7 beispielsweise zum Anschluß von S/D-Gebieten von Transistoren dienen oder auch gleichzeitig als leitfähige Füllung der Kontakte 6.

Die erste Metallisierungsebene 7 ist mit einem vorzugsweise planaren Intermetalldielektrikum 8, beispielsweise einem geeigneten Oxid, abgedeckt. In diesem sind an vorgegebenen Stellen Kontakte, sogenannte Vias 9, angeordnet. Im BT-Bereich bilden ein oder mehrere Vias 9 wiederum einen Teil der Achse A sowie evtl. der Elektroden E₁, E₂. Im IS-Bereich ist die erste Metallisierungsebene über die Vias 9 angeschlossen.

Auf dem Intermetalldielektrikum 8 befindet sich eine zweite Metallisierungsebene 10, beispielsweise aus AlSi. Sie wird so strukturiert, daß sie im BT-Bereich eine Sicherung S gegen das Herausfallen der später freizulegenden beweglichen Strukturen darstellt, beispielsweise indem ein geschlossener Bügel mit Hilfe der unterliegenden Schichten gebildet wird, oder indem auf der Achse eine Fläche gebildet wird, die einen größeren Durchmesser als den entsprechenden Innendurchmesser des Rings 7 besitzt. Außerdem ist über die zweite Metallisierungsebene 10, Via 9, erste Metallisierungsebene 7, Kontakt 6 und den seitlichen Teil P die Polysiliziumschicht 3, wie in Fig. 2 dargestellt, nach außen an-

die in den Fig. 5 und 6 angegebene Schichtenfolge auf (Bezugsziffern wie in den Fig. 1 und 2, IS-Bereich nicht dargestellt). Das Substrat 1, an dem im allgemeinen schon eine Vielzahl an Prozeßschritten für die integrierte Schaltung vorgenommen wurde, kann an seiner Oberfläche eine beliebige Schicht aufweisen, beispielsweise Feldoxid oder Polysilizium. Darauf befindet sich das Zwischenoxid 5 als isolierende Schicht und die Metallisierungsebene 7 als leitende Schicht. Die Metallisierungsebene wird wie in Fig. 7 dargestellt zu dem Masse-Element M, dem Feder-Element F, der Befestigungsplatte B, der Elektrode E und den Leitungen L zur Auswertelektronik strukturiert. Die Befestigungsplatte B kann auch entfallen, und das Feder-Element kann direkt in die Leitungen übergehen. Die Metallisierungsebene 7 ist mit der Passivierung 11 abgedeckt.

Die Photomaske 12 für den isotropen Ätzprozeß besitzt eine ausreichend große Öffnung, so daß wie bereits erläutert, mindestens das Masse-Element M und ein für die Federwirkung ausreichender Teil des Feder-Elementes F unterätzt werden (Fig. 6). Ferner sollte zumindest die Kante der Elektrode E freigelegt werden. Die Befestigungsplatte B wird nicht frei- oder unterätzt, um eine sichere mechanische Befestigung über die isolierende Schicht 5 mit dem Substrat 1 zu gewährleisten. Die Photomaske 12 kann wie dargestellt eine weitere Öffnung über der Elektrode E besitzen, die so dimensioniert ist, daß der Ätzprozeß auf der Elektrode stoppt. Dann kann die Elektrode auch von oben direkt kontaktiert werden. Im (nicht dargestellten) IS-Bereich besitzt die Photomaske Öffnungen über den Metallisierungspads, die von außen angeschlossen werden sollen. Nach Entfernung der Maske 12 wird das Mikrosystem gemäß dem üblichen IS-Prozeß fertiggestellt.

Bei einer Mehrlagenverdrahtung können die beweglichen und festen Strukturen beispielsweise alle aus der obersten Verdrahtungsebene gebildet werden. Sie können auch aus verschiedenen Ebenen gebildet werden, bzw. können die Leitungen L aus einer höheren Verdrahtungsebene als die übrigen Strukturen hergestellt werden.

Wirkt auf das Masse-Element M eine Kraft, so verbiegt sich die Feder F, und das Masse-Element verändert seinen Ort. Die Ortsveränderung kann als Kapazitätsänderung zwischen dem Masse-Element und der Elektrode nachgewiesen werden. Durch die Rückstellkraft der Feder verändert sich das Kapazitätssignal monoton mit der einwirkenden Kraft. Das Bauelement kann daher als Beschleunigungssensor benutzt werden, indem man die Trägheitskraft auf das Masse-Element ausnutzt. Es ist jedoch genauso möglich, andere Krafteinwirkungen auf das Masse-Element zu detektieren. So können z. B. die Kraft einer strömenden Flüssigkeit oder eines Gases oder die direkte Krafteinwirkung eines externen mechanischen Bauteils nachgewiesen werden. Masse und Elektrode können auch übereinanderliegend angeordnet werden, wobei die Verbiegung der Feder in der entsprechenden Richtung erfolgt.

Das Bauteil kann auch als Schalter verwendet werden, wenn die Kante der Elektrode E freigelegt ist. Die Krafteinwirkung auf das Masse-Element wird dadurch nachgewiesen, daß ein Kurzschluß zwischen der Elektrode (bzw. mehreren Elektroden und dem Masse-Element hergestellt wird. Der Kurzschluß entsteht, wenn die einwirkende Kraft größer gleich der Federrückstellkraft bei Maximalverbiegung (Anschlag) ist.

Das in Fig. 5 und 7 dargestellte Bauteil kann weiterhin als Aktuator verwendet werden. Dazu werden an

Masse-Element M, Federelement F, Befestigungsplatte B einerseits, und an die Elektrode andererseits, Spannungen angelegt. Das durch eine Spannungsdifferenz zwischen Masse-Element und Elektrode hervorgerufene elektrostatische Feld übt eine Kraft auf das Masse-Element aus, und bewirkt so eine Verbiegung des Federelements und Verschiebung des Masse-Elementes.

Neben einer quasi statischen Betriebsart ist auch eine dynamische Betriebsart möglich, bei der die angelegte Spannung eine Wechsellspannung ist und das Masse-Element zu mechanischen Schwingungen angeregt wird (Oszillator-Funktion). Da die mechanischen Schwingungsamplituden bei Anregung mit der Eigenfrequenz des Feder-Masse-Systems maximal werden und zu einem Extremwert im Wechselstromwiderstand führen, kann das Bauteil als frequenzbestimmendes Element in einer elektronischen Schaltung verwendet werden (Resonator-Funktion).

Die in Fig. 5 bis 7 dargestellten Umriss des Bauteils stellen nur ein Ausführungsbeispiel dar. Andere Formen sind genauso möglich. So können z. B. die gegenüberliegenden Kanten von Elektrode und Masse-Element zur Vergrößerung der Fläche kammartig ausgebildet werden.

Patentansprüche

1. Mikrosystem auf einem Halbleitersubstrat (1) mit
 - einer integrierten Schaltung (IS), welche eine isolierende Schicht (5) und eine darüber angeordnete leitende Schicht (7) umfaßt, die über einen Kontakt (6) in der isolierenden Schicht (5) mit einem tieferliegenden Schaltungselement verbunden ist, und
 - einem mikromechanischen Bauteil (BT), welches eine feste mikromechanische Struktur (A, E) und eine bewegliche mikromechanische Struktur (R, F, M) umfaßt, die mindestens teilweise aus der leitenden Schicht (7) bestehen,

wobei

- die feste mikromechanische Struktur mittels der isolierenden Schicht (5) und/oder einem weiteren Kontakt (6) mit dem Substrat (1) verbunden ist, und
 - unter der beweglichen mikromechanischen Struktur die isolierende Schicht (5) fehlt.
2. Mikrosystem nach Anspruch 1, bei dem die bewegliche mikromechanische Struktur frei beweglich ist.
 3. Mikrosystem nach Anspruch 1, bei dem die bewegliche mikromechanische Struktur federnd beweglich ist.
 4. Mikrosystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die integrierte Schaltung (IS) mehrere leitende Schichten (7, 10) in Form einer Mehrlagenmetallisierung aufweist und die mikromechanischen Strukturen aus mehreren der Metallisierungsebenen gebildet sind.
 5. Mikrosystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die integrierte Schaltung (IS) eine Ein- oder Mehrlagenmetallisierung mit der leitenden Schicht 7 aufweist und alle mikromechanischen Strukturen aus derselben leitenden Schicht (7) gebildet sind.
 6. Mikrosystem nach einem der Ansprüche 1 bis 2.4 bis 5, bei dem Sicherungsmittel (S) gegen Herausfallen der frei beweglichen mikromechanischen Struktur (R) vorgesehen sind, die aus einer anderen

FIG 5

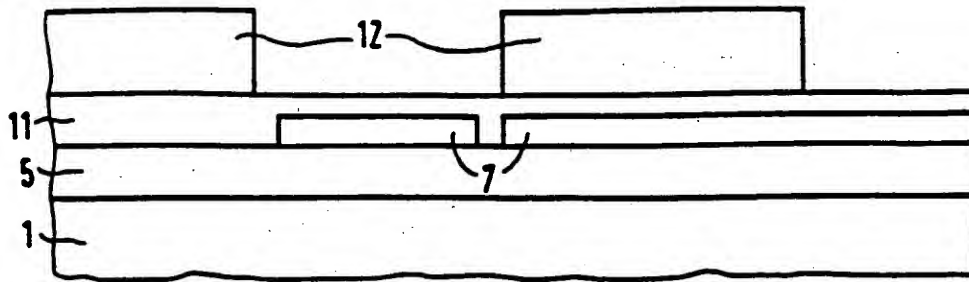


FIG 6

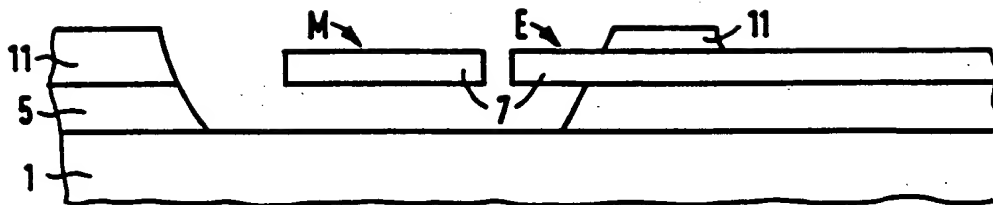
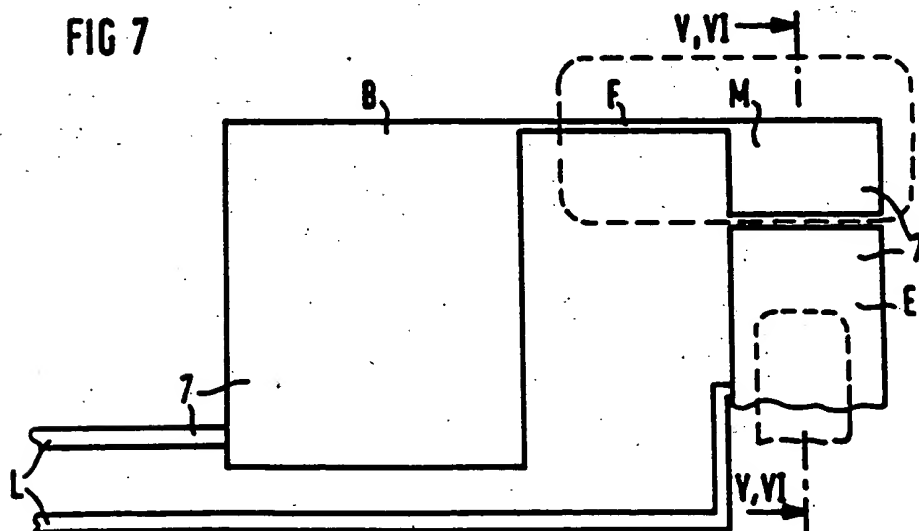


FIG 7



THIS PAGE BLANK (USPTO)

DOCKET NO: GR 97P 2659P

SERIAL NO: 09/538,792

APPLICANT: Scotto di Carlo et al.

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100